

УДК 621.926

**А.В. АНЦИФЕРОВ**, канд. техн. наук, **И.В. КОМАРОВА**,  
Национальный горный университет, г. Днепропетровск

## **НЕУПРУГОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВИБРОУДАРНОЙ СИСТЕМЫ**

Досліджується динамічна модель вертикального вібраційного млина як одномасна несиметрична віброударна система камера - маса. Удар маси з дном абсолютно непружний, удар об кришку пружний. З урахуванням прийнятих допущень складені рівняння руху й побудовані траєкторії руху елементів системи. Визначено області припустимих значень параметрів системи. Побудовано криві швидкостей ударної взаємодії й визначені їхні максимальні значення.

The dynamic model of vertical vibration mill is probed as onemass asymmetrical vibroimpact system chamber – mass. Blow about a bottom absolutely not resilient, a blow at a lid is resilient. Taking into account the accepted assumptions even of motion is made and the trajectories of motion of elements of the system are built. The area of acceptability parameters of the system are certain. The curves of speeds of shock co-operation are built and their maximal values are certain.

В различных областях производства, использующих тонкоизмельченные порошки, нашли широкое применение вибрационные мельницы. В зависимости от конструктивного расположения цилиндрической помольной камеры они подразделяются на горизонтальные и вертикальные. Особенностью вертикальных вибрационных мельниц является возможность реализации в них виброударного режима работы [1]. Показано, что благодаря такому виду нагружения эти мельницы обладают большими потенциальными возможностями для использования их в качестве механохимических реакторов [2, 3]. Динамический расчет вертикальных вибрационных мельниц рассматривается в работе [4]. Мелющие тела заполняют помольную камеру до определенного уровня и их рассматривают как единичную массу с кусочно-линейными упругими и диссипативными связями. Но возможен и другой подход с позиций теории виброударных систем [5].

Целью данной работы является расчет технологических параметров вертикальной вибрационной мельницы как одномассной виброударной системы с неупругим взаимодействием ее элементов.

**Допущения и расчетная схема.** Рассмотрим единичный период взаимодействия помольной камеры и массы как единичной массы (рис. 1). Будем далее оперировать терминами камера – масса. Внутри помольной камеры находится также измельчаемый порошок, который занимает определенный слой у ее дна. Он оказывает влияние на ударное взаимодействие массы и камеры. Поэтому считаем взаимодействие массы с дном камеры абсолютно неупругим.

Закон движения камеры задан. Взаимодействие с массой на него не влияет. Масса ударяется о дно камеры со скоростью  $u$ , приобретает ее скорость и на участке 0-1 происходит их совместное движение. В точке 1 скорость массы  $v_1$  становится больше скорости камеры, происходит ее отрыв и далее раздельное движение элементов системы – участок 1-2. Удар о крышку считаем упругим с коэффициентом восстановления  $R$ . Временем удара пренебрегаем. Скорость удара массы о крышку камеры –  $u_2$ , скорость отскока –  $v_2$ . После этого масса движется к дну камеры – участок 2-3.

Движение массы вне контакта с камерой происходит в поле силы тяжести. Сила трения отсутствует.

В статическом положении зазор между массой и крышкой камеры  $2S$ . Колебания камеры происходят с амплитудой  $a$  и частотой  $\omega$ .

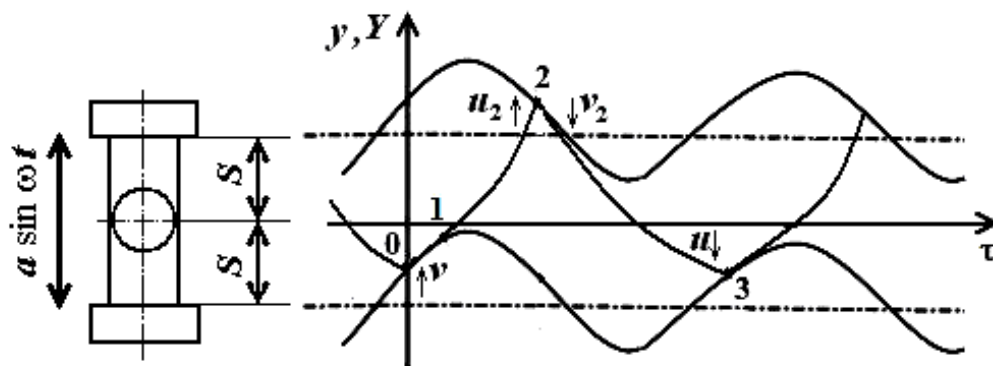


Рис. 1. Расчетная схема

**Математическая модель.** При составлении уравнений движения массы и камеры их координаты соответственно  $Y$  и  $y$  отсчитываем от среднего по-

ложения камеры. Время отсчитываем от момента соударения массы с днищем. Уравнения движения записываем в безразмерном виде, для чего приняты следующие обозначения:

$$y = \frac{w^2}{g} y^*, Y = \frac{w^2}{g} Y^*, \Gamma = \frac{aw^2}{g} y^*, t = wt, S = \frac{w^2}{g} S.$$

Звездочки при некоторых величинах показывают то, что они размерные.  $\Gamma$  называется безразмерной интенсивностью возбуждения.

В безразмерной форме закон движения камеры имеет вид:

$$Y = \Gamma \sin(t + j), \quad (1)$$

где  $\varphi$  – фазовый угол соударения массы с днищем камеры.

Закон движения массы на участке свободного полета:

$$y = -\frac{1}{2} t^2 + C_{1\pm} t + C_{2\pm}. \quad (2)$$

Знаки плюс в индексах постоянных соответствуют интервалу движения массы с положительной скоростью (вверх), знаки минус – интервалу движения массы вниз.

Запишем граничные условия (координаты и скорости) для участков совместного и раздельного движений камеры и массы.

В точке соударения:

$$y = -S + \Gamma \sin j, \quad \dot{y} = \dot{y} = \Gamma \cos j \quad \text{при } \tau = 0. \quad (3)$$

Отрыв массы от камеры произойдет в точке 1 при ускорении камеры  $g$ . В безразмерном виде из (1) это условие запишется как:

$$\ddot{y} = -\Gamma \sin(t_1 + j) = -1.$$

Отсюда,

$$t_1 = \arcsin \frac{1}{\Gamma} - j. \quad (4)$$

Рассмотрим интервал 1 – 2 движения массы от днища до соударения с крышкой камеры. В момент отрыва массы от камеры с учетом (1) и (4):

$$y = 1 - S, \quad \dot{y} = \dot{y} = v = \Gamma \cos(t_1 + j) \quad \text{їđè} \quad t = t_1. \quad (5)$$

При ударе о крышку в точке 2:

$$y = S + \Gamma \sin(t_2 + j), \\ \dot{y} = \Gamma \cos(t_2 + j), \quad \dot{x} = u_2, \quad \dot{y} = v_2, \quad \text{їđè} \quad t = t_2. \quad (6)$$

Значения  $u_2$  и  $v_2$  в момент соударения с крышкой связаны со скоростью движения камеры и коэффициентом восстановления  $R$  уравнением удара:

$$v_2 - \Gamma \cos(t_2 + j) = -R[u_2 - \Gamma \cos(t_2 + j)]. \quad (7)$$

В момент соударения с днищем в точке 3:

$$y = -S + \Gamma \sin j, \quad \dot{y} = \Gamma \cos j, \quad \dot{x} = u \quad \text{їđè} \quad t = 2p. \quad (8)$$

Составим уравнения для определения координат массы и крышки камеры в момент их встречи, т. е. при  $t = t_2$ . Координата массы определяется из уравнения:

$$y = -\frac{1}{2} t_2^2 + C_{1\pm} t_2. \quad (9)$$

Координата камеры определяется из уравнения:

$$Y = \Gamma \sin(t_2 + j) + 2S - 1. \quad (10)$$

Приравниваем (9) и (10) получаем выражение для определения  $t_2$ :

$$-\frac{1}{2} t_2^2 + C_{1\pm} t_2 = \Gamma \sin(t_2 + j) + 2S - 1, \quad (11)$$

где  $C_{1+} = t_1 + \Gamma \cos(t_1 + j)$  – из (2) и второго условия (5);

$C_{2+} = \frac{1}{2} t_1^2 - [t_1 + \Gamma \cos(t_1 + j)] t_1 + 1 - S$  – из (2) и первого условия (5).

Скорость массы  $u_2$  при ударе о крышку:

$$u_2 = -t_2 + C_{1+}. \quad (12)$$

Тогда из уравнения (7) скорость массы после удара:

$$v_2 = -R [u_2 - \Gamma \cos(t_2 + j)] + \Gamma \cos(t_2 + j) \quad (13)$$

Из (2) и последнего условия (6):

$$C_{1-} = t_2 + v_2. \quad (14)$$

Соответственно из (2) при  $t = t_2$ :

$$C_{2-} = C_{1+}t_2 + C_2 - C_{1-}t_2. \quad (15)$$

Выражение для скорости массы при ударе по днищу:

$$u = -\frac{1}{2}(2p - t_2)^2 + C_{1-}(2p - t_2) + C_{2-}. \quad (16)$$

**Пример расчета.** Рассмотрим один период движения камеры и массы по следующим параметрах:  $\Gamma = 4$ ,  $\sigma = 3$ ,  $R = 0,4$ . Траектории движения элементов системы, рассчитанные по полученным уравнениям, показаны на рис. 2.

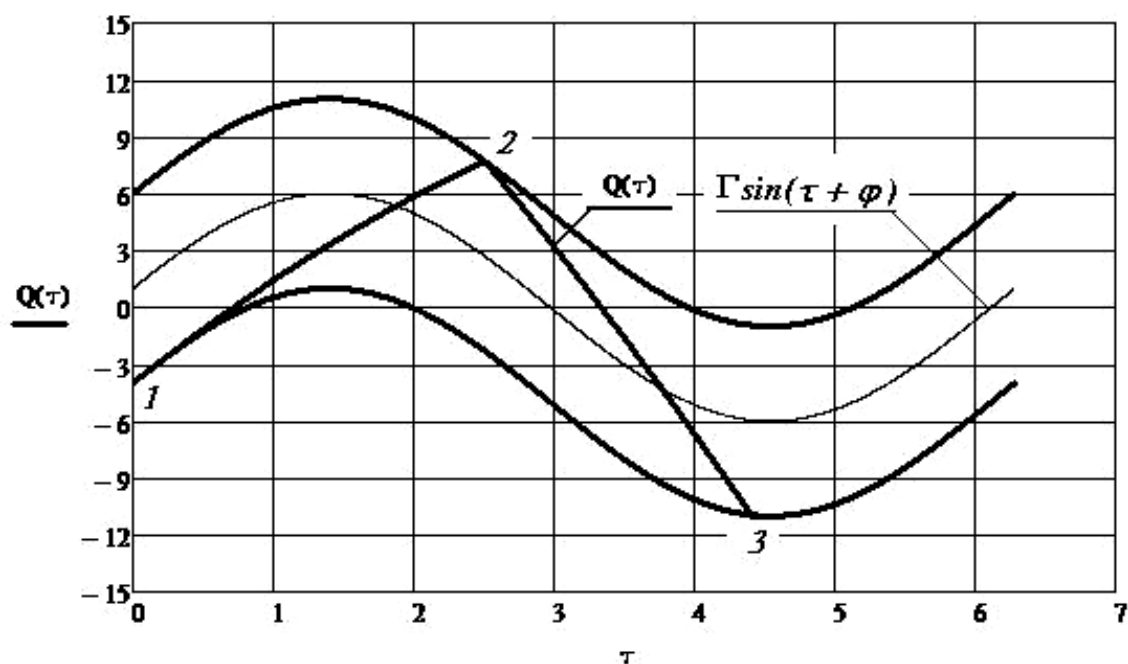


Рис. 2. Траектории движения камеры и массы –  $Q(\tau)$

На рис. 3 представлена область допустимых значений  $\sigma$  и  $\Gamma$  при которых реализуется виброударный процесс взаимодействия камеры и массы.

Начальные значения  $\sigma$  и  $\Gamma$  равны 0,1 и 1,4 соответственно.

Нижние и верхние пределы допустимой области ограничены прямыми.

Рис. 3, а – значения  $\sigma$  и  $\Gamma$  используемые, в практике конструирования вертикальных вибрационных мельниц, рис. 3, б – расширенная область изменения параметров  $\sigma$  и  $\Gamma$ .

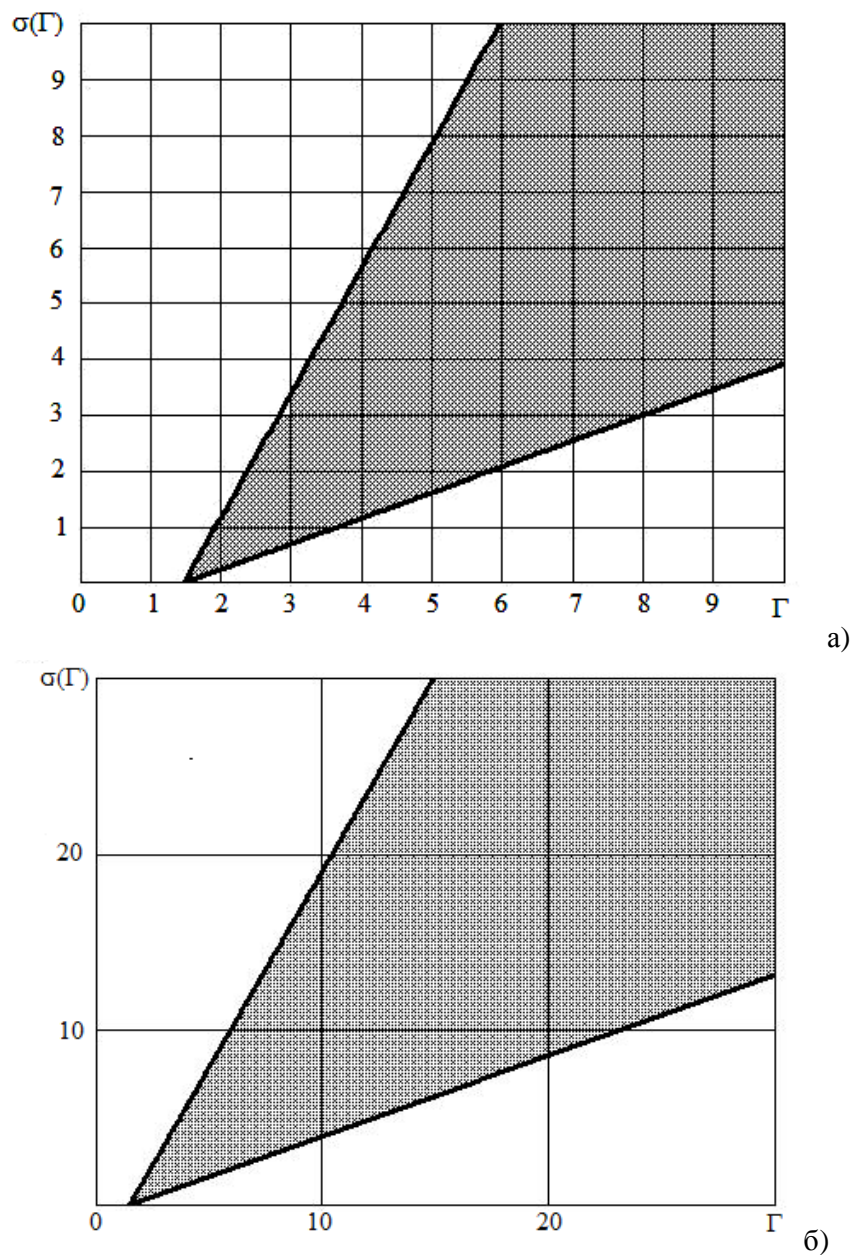


Рис. 3. Зависимость сигма и гамма

Так как слой порошка расположен у дна камеры, то в этой зоне и происходит процесс измельчения. Поэтому был произведен математический расчет скорости взаимодействия массы с дном камеры по формуле (16).

Полученные кривые скоростей приведены на рис. 4. Максимальные значения скорости удара описываются уравнением  $U_{max} = 0,739G + 0,411$ , которое изменяется по линейному закону.

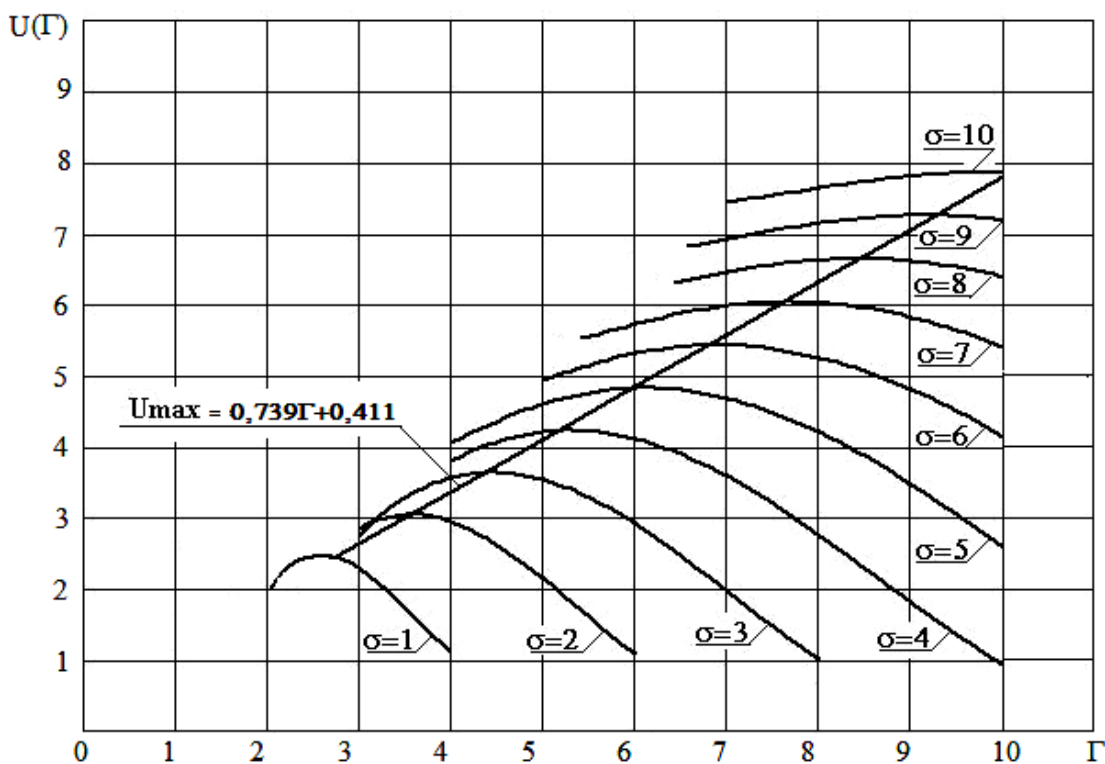


Рис. 4. Кривые скорости удара

### Выводы.

Для рассматриваемой нами несимметричной одномассной виброударной системы:

область допустимых значений  $\sigma$  и  $\Gamma$  ограничена двумя прямыми с начальной точкой  $\sigma = 0,1$  и  $\Gamma = 1,4$ .

для каждого значения  $\sigma$  существует кривая изменения скорости удара  $u$ , имеющая максимум.

зависимость максимальных значений скорости удара массы о днище камеры имеет линейный характер.

Предложен наиболее простой способ учета наличия порошка на дне камеры, который требует дальнейшего уточнения и развития.

**Список литературы:** 1. Анциферов А.В. Экспериментальное исследование поведения многомассной системы внутри камеры с вертикальным направлением вибрации / А.В. Анциферов // Вісник НТУ «ХП». – 2006. – № 30. – С. 42 – 49. 2. Анциферов А.В. Исследование возможности активации гидроокиси алюминия в вертикальной вибрационной мельнице / А.В. Анциферов, Э.Г. Илько, Е.Ю. Светкина // Материалы научной школы стран СНГ «Виброротехнология-95» по измельчению и активации. – Одесса: НПО «ВОТУМ», 1995. – Ч. I. – С. 71 – 73. 3. Анциферов А.В. Фазовые переходы в зоне нагружения при виброударных воздействиях / А.В. Анциферов, Е.Ю. Светкина, В.П. Франчук // Физика и техника высокоэнергетической обработки материалов. – Днепропет-



ровск: АРТ-ПРЕСС, 2007. – С. 52 – 61. 4. Франчук В.П. Конструкция и динамический расчет вибрационных мельниц / В.П. Франчук // Техника и технология обогащения руд. – М.: Недра, 1995. – С. 143 – 160.

*Поступила в редколлегию 19.05.09*

УДК 666.965(063):519.2

***Е.С. ШИНКЕВИЧ***, докт. техн. наук, ***Е.С. ЛУЦКИН***, канд. техн. наук,  
***Г.Г. БОНДАРЕНКО, Ю.В. ДОЦЕНКО***, ОГАСА

## **ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Традиційно термічна активація компонентів силікатобетонної суміші здійснюється в автоклавах, де в умовах підвищеної температури і тиску відбувається гідротермальний синтез гідросилікатів кальцію. На основі експериментально-теоретичних досліджень обґрунтована можливість отримання силікатних матеріалів неавтоклавного тверднення методом литт'євого формування силікатобетонних механохімічно активованих сумішей.

Traditionally thermal activation of components lime-silica mixes is carried out in autoclaves where in conditions of the raised temperature and pression there is a hydrothermal synthesis of hydrosilicates of calcium. On the basis of the opportunity of reception of silicate materials non-autoclave hardening by a method molding formations lime-silica mechano-chemistry activated mixes is experimentally-theoretical studies proved.

**Введение.** Многочисленные исследования последних десятилетий посвящены механическим методам ускорения химических реакций, особенно между твёрдыми неорганическими веществами, происходящими при формировании структуры и свойств строительных композитов. Явления механохимии синтезируют в себе положительные эффекты механической и химической группы технологических факторов.

Механохимическая активация является перспективным направлением для получения силикатных композитов неавтоклавного твердения [1].

Традиционно термическая активация компонентов силикатобетонной смеси осуществляется в автоклавах, где в условиях повышенной температуры и давления происходит гидротермальний синтез гидросилікатов кальція.